

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 43 39 094 A 1

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
F 23 R 7/00  
F 23 C 11/04  
F 23 N 5/16

21 Aktenzeichen: P 43 39 094.3  
22 Anmeldetag: 16. 11. 93  
43 Offenlegungstag: 18. 5. 95

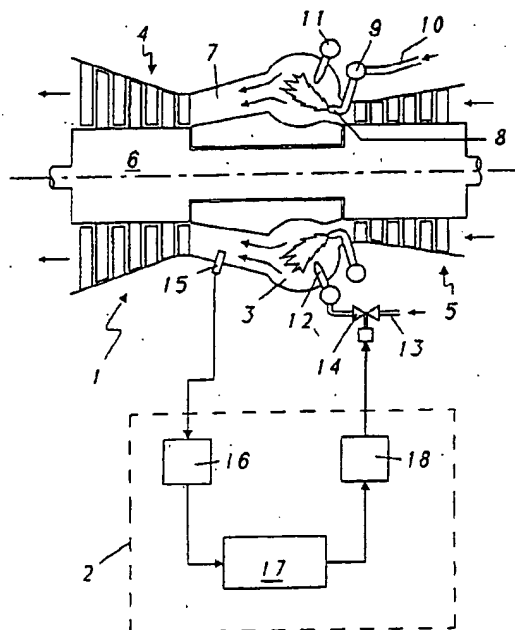
DE 43 39 094 A 1

71 Anmelder:  
ABB Management AG, Baden, Aargau, CH  
74 Vertreter:  
Rupprecht, K., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 61476 Kronberg

72 Erfinder:  
Fischer, Melch, Dr., Oberwil-Lieli, CH  
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:  
DE-OS 39 16 413  
DE 31 37 880 A1  
GB 14 95 015  
US 50 97 656  
WO 93 10 401 A1

54 Verfahren zur Dämpfung von thermoakustischen Schwingungen sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

57 Bei einem Verfahren zur Dämpfung von thermoakustischen Schwingungen, welche bei der Verbrennung eines einströmenden Brennstoffes in einer Brennkammer (3), insbesondere in der Brennkammer einer Gasturbine (1), entstehen, und bei welchem Verfahren die Druckschwankungen in der Brennkammer (3) gemessen und die Verbrennung nach Maßgabe der gemessenen Druckschwankungen phasenrichtig so steuernd beeinflusst wird, daß die Druckschwankungen verringert werden, wird eine wirkungsvolle Dämpfung der Druckschwankungen unabhängig von der Art des Brennstoffes dadurch erreicht, daß zur Steuerung der Verbrennung der Ort der mit der Verbrennung verbundenen Wärmefreisetzungschwankung gesteuert wird.



DE 43 39 094 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 03. 95 508 020/319

7/30

## Beschreibung

## Technisches Gebiet

5

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Verbrennungstechnik. Sie betrifft ein Verfahren zur Dämpfung von thermoakustischen Schwingungen, welche bei der Verbrennung eines einströmenden Brennstoffes in einer Brennkammer, insbesondere in der Brennkammer einer Gasturbine, entstehen, bei welchem Verfahren die Druckschwankungen in der Brennkammer gemessen und die Verbrennung nach Maßgabe der gemessenen Druckschwankungen phasenrichtig so steuernd beeinflusst wird, daß die Druckschwankungen verringert werden.

10

Ein solches Verfahren ist zum Beispiel aus der Deutschen Offenlegungsschrift DE-A1-40 40 745 bekannt. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

15

## Stand der Technik

Bei der Verbrennung von Brennstoffen in den Brennkammer von stationären Gasturbinen, Flugzeugtriebwerken oder dgl. kann es aufgrund der Verbrennungsvorgänge zu Instabilitäten oder Druckschwankungen kommen, die unter geeigneten Verhältnissen (thermoakustische) Schwingungen anregen. Solche thermoakustischen Schwingungen machen sich nach außen hin als Summen, Brummen oder Rumpeln bemerkbar. Sie stellen nicht nur eine unerwünschte Schallquelle dar, sondern führen zu unzulässig hohen mechanischen Belastungen der Brennkammer, zum Anstieg der Schadstoffemissionen durch inhomogene Verbrennung und im Extremfall zum Löschen der Flamme.

20

Um derartige thermoakustische Schwingungen wirkungsvoll zu bekämpfen, sind in der Vergangenheit bereits verschiedentlich Vorschläge zu deren aktiven Dämpfung gemacht worden (siehe die eingangs genannte Druckschrift oder die DE-A1-34 39 903). Das in der eingangs genannten Druckschrift vorgeschlagene Verfahren beruht auf einer antizyklischen Zuführung von Brennstoff. Das Funktionsprinzip basiert auf dem sogenannten Rayleigh-Kriterium. Nach diesem Kriterium kommt es in einer Brennkammer zur Schallanfachung, wenn der Kreuzkorrelationsterm

30

$$P_K(x) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T p(x, t) * \dot{Q}(x, t) dt$$

35

mit  
 $Q(x, t)$ : Wärmefreisetzungsrate  
 $p(x, t)$ : Druck  
 $t, T$ : Zeit  
 $x$ : Ort  
 positive Werte annimmt.

40

Nach dem erwähnten Stand der Technik werden Stellglieder vorgeschlagen, um die Schwankungen in der Wärmefreisetzung über die Brennstoffzufuhr so zu steuern, daß der Kreuzkorrelationsterm minimal wird. Für flüssige Brennstoffe sind derartige Stellglieder vorhanden. Für gasförmige Brennstoffe sind jedoch keine brauchbaren Stellglieder verfügbar. Das Problem ist, daß sich bei Stellgliedern für gasförmige Brennstoffe parasitäre Druckschwankungen in den Gasversorgungsleitungen zu den Brennern ausbilden, die schließlich die Verbrennung unerwünscht beeinflussen.

50

## Darstellung der Erfindung

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zu schaffen, mit welchem auf einfache Weise unabhängig von der Brennstoffart (flüssig oder gasförmig) thermoakustische Schwingungen in einer Brennkammer wirkungsvoll gedämpft werden können, sowie eine entsprechende Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens anzugeben.

55

Die Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß zur Steuerung der Verbrennung der Ort der mit der Verbrennung verbundenen Wärmefreisetzungs-schwankung gesteuert wird. Da die Steuerung nicht über den Brennstoffzufluß selbst erfolgt, kann das erfindungsgemäße Verfahren folgerichtig sowohl bei flüssigen als auch bei gasförmigen Brennstoffen eingesetzt werden.

60

Die Erfindungsidee besteht also darin, nicht die Wärmefreisetzungs-schwankung in ihrer Höhe zu beeinflussen, sondern den Ort der Wärmefreisetzungs-schwankung. Durch eine solche Maßnahme kann der Kreuzkorrelationsterm ebenfalls minimiert werden. Grundsätzlich kann der Ort der Wärmefreisetzungs-schwankung beispielsweise dadurch verändert werden, daß die Geometrie des Brennraumes oder der Flamme verändert wird. Eine solche geometrische Veränderung wäre jedoch mit aufwendigen mechanischen Einrichtungen verbunden, welche die Konstruktion der Brennkammer unnötig verkomplizieren.

65

Es wird deshalb gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens die Steuerung des Ortes der Wärmefreisetzungs-schwankung durch eine Steuerung des Zündzeitpunktes bewirkt. Durch eine Veränderung des Zündzeitpunktes bzw. Zündverzuges ergibt sich wegen der Strömung des Brennstoffes

automatisch eine Veränderung des Zündortes und damit eine Veränderung des Ortes der Wärmefreisetzungsschwankung.

Besonders einfach und wirkungsvoll kann der Zündzeitpunkt beeinflußt werden, wenn gemäß einer bevorzugten Weiterbildung des Verfahrens nach der Erfindung die Steuerung des Zündzeitpunktes durch Eindüsen eines zusätzlichen Mediums in die Brennkammer bewirkt wird. Es versteht sich dabei von selbst, daß die Eindüsung phasenrichtig erfolgen muß, um den angestrebten Dämpfungserfolg zu ermöglichen.

Bei einer ersten alternativen Ausführungsform wird ein zusätzliches Medium eingedüst, welches den Zündverzug vergrößert. Bevorzugt wird dabei Wasser als zusätzliches Medium eingesetzt.

Bei einer zweiten alternativen Ausführungsform wird ein zusätzliches Medium eingedüst, welches den Zündverzug verringert. Bevorzugt wird dabei Wasserstoff oder CO als zusätzliches Medium verwendet.

Die Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist gekennzeichnet durch erste Mittel zur Messung der Druckschwankungen und zweite Mittel zur Steuerung des Ortes der Wärmefreisetzung, welche zweiten Mittel mit den ersten Mitteln über eine Regelung in Wirkverbindung stehen und eine Regel-  
schleife bilden.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Vorrichtung nach der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß die ersten Mittel wenigstens einen in und/oder hinter der Brennkammer angeordneten Drucksensor und die zweiten Mittel wenigstens eine in der Brennkammer angeordnete Einspritzdüse umfassen, welche Einspritzdüse über eine mit einem Regelventil versehene Zuleitung mit einem zusätzlichen Medium zur Steuerung des Zündverzugs beaufschlagbar ist.

Weitere Ausführungsformen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

#### Kurze Erläuterung der Figur

Die Erfindung soll nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels im Zusammenhang mit der einzigen Figur näher erläutert werden. Die Figur zeigt ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel einer Regelanordnung nach der Erfindung, mit der die thermoakustischen Schwingungen, in der Brennkammer einer Gasturbine durch ein geregeltes Eindüsen eines zusätzlichen Mediums in die Brennkammer wirkungsvoll gedämpft werden können.

#### Wege zur Ausführung der Erfindung

In der (einzigen) Figur ist schematisch eine (stationäre) Gasturbine 1 dargestellt, wie sie zur Stromerzeugung in großen Kraftwerken eingesetzt wird. Die Gasturbine 1 umfaßt einen Verdichterteil 5, eine Brennkammer 3 mit nachfolgendem Turbineneintritt 7 und einen Turbinenteil 4. Sowohl im Verdichterteil 5 als auch im Turbinenteil 4 sind abwechselnd Kränze von Leit- und Laufschaufeln angeordnet. Die rotierenden Laufschaufeln sind auf einer gemeinsamen Turbinenwelle 6 befestigt. Verbrennungsluft wird auf der rechten Seite am Verdichtereinlaß angesaugt, im Verdichterteil 5 verdichtet und unter Druck in die (in diesem Beispiel ringförmige) Brennkammer 3 eingeleitet. Dort wird die Luft mit Brennstoff vermischt, der über eine Brennstoffzuleitung 10, eine Brennstoff-  
ringleitung 9 und eine Mehrzahl von Brennstoffeinspritzdüsen 8 in die Brennkammer 3 eingedüst wird. Das Luft-Brennstoff-Gemisch wird gezündet und brennt in einer Flamme. Die entstehenden heißen Verbrennungsgase strömen mit hoher Geschwindigkeit durch den Turbineneintritt 7 in den Turbinenteil 4, wo sie ihre kinetische Energie zumindest teilweise über die Laufschaufeln an die drehende Turbinenwelle 6 abgeben.

Die in der Brennkammer 3 bei der Verbrennung entstehenden thermoakustischen Schwingungen werden nun dadurch dämpfend beeinflußt, daß der Ort der Wärmefreisetzungsschwankung, d. h., insbesondere die Lage und/oder Form der Flamme nach Maßgabe der unerwünschten Druckschwankungen verändert und geregelt wird. Hierzu ist eine Regelschleife vorgesehen, die wenigstens einen Drucksensor 15, eine Regelung 2 und ein Regelventil 14 zur geregelten Eindüsung eines zusätzlichen Mediums in die Brennkammer 3 umfaßt.

Der Drucksensor 15 ist an einem Ort mit starken Druckschwankungen, also z. B. in der Brennkammer 3 selbst oder — wie in der Figur gezeigt — im Turbineneintritt 7 angeordnet. Er nimmt die mit den thermoakustischen Schwingungen verbundenen Druckschwankungen messend auf und gibt das entstehende Meßsignal an eine nachgeordnete Meßwertaufbereitung 16 weiter. Die Meßwertaufbereitung 16 kann beispielsweise geeignete Filterschaltungen und Vorverstärker umfassen, welche das Meßsignal von Störungen befreien und auf ein Niveau verstärken, das zur Weiterverarbeitung erforderlich ist. Das so aufbereitete Meßsignal wird dann an eine nachfolgende Meßwertverarbeitung 17 weitergeleitet, die insbesondere dafür sorgt, daß innerhalb der Regelschleife die notwendige Phasenverschiebung ausgeführt wird. Dies kann mit analogen Mitteln geschehen oder digital durch Einsatz eines Mikroprozessors.

Das entsprechend verarbeitete Signal gelangt aus der Meßwertverarbeitung 17 auf den Eingang einer Ansteuerung 18, welche die für die Steuerung des Regelventils 14 notwendigen Stellgrößen erzeugt. Die Art der Stellgröße richtet sich danach, ob das Regelventil 14 elektrisch, hydraulisch oder pneumatisch arbeitet. Das Regelventil 14 ist in einer Zuleitung 13 für ein zusätzliches Medium angeordnet und steuert den Zustrom des Mediums zu entsprechenden Einspritzdüsen 12, die an eine Ringleitung 11 angeschlossen sind und das Medium in die Brennkammer 3 eindüsen. Die Einspritzdüsen 12 sind zweckmäßigerweise auf die Flamme in der Brennkammer 3 gerichtet. Sie können quer zur Flammenrichtung oder parallel dazu ausgerichtet sein. Sie können. Die Düsen selbst können ringförmig oder als Einzeldüsen ausgebildet sein. Wichtig ist, daß das zusätzliche Medium in experimentell genau zu bestimmende, vom Brenntyp abhängende Zonen der Flamme eingedüst wird, wo die Beeinflussung des Zündverzuges besonders wirksam ist.

Besonders einfach läßt sich die dargestellte Regelung ausführen, wenn als zusätzliches Medium eine Flüssigkeit, insbesondere Wasser, verwendet wird. Der Vorteil dieser Ausführungsform liegt darin, daß entsprechende Stellglieder, d. h. Regelventile 14, für flüssige Medien vorhanden sind. Mit dem Eindüsen von Wasser wird in an

sich bekannter Weise die Zündverzugszeit verlängert. Erfolgt die Eindüsung mit der entsprechenden Phasenverschiebung, wird der eingangs erwähnte Kreuzkorrelationsterm minimiert.

Es ist jedoch auch denkbar, anstelle des Wassers ein gasförmiges zusätzliches Medium zur Verlängerung der Zündverzugszeit einzudüsen, wenn entsprechende Stellglieder vorhanden sind. Ebenso ist es denkbar, anstelle von die Zündverzugszeit verlängernden Medien solche (flüssig oder gasförmig) einzusetzen, welche die Zündverzugszeit verkürzen. Als Beispiele für derartig wirkende gasförmige Medien seien hier Wasserstoff und Kohlenmonoxid (CO) genannt.

Die Anwendung der Erfindung ist selbstverständlich nicht auf die im Beispiel gezeigten ringförmigen Hauptbrennkammern von stationären Gasturbinen beschränkt. Sie kann mit gleichem Erfolg bei geometrisch anders gestalteten Brennkammern, bei Nachbrennkammern, bei Flugzeugtriebwerken oder dgl. eingesetzt werden.

Insgesamt ergibt sich mit der Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Betrieb einer Brennkammer, bei welchem unabhängig von der Art des Brennstoffs einfach und wirkungsvoll die beim Verbrennungsvorgang entstehenden thermoakustische Schwingungen gedämpft oder ganz unterdrückt werden können.

#### 15 Bezugszeichenliste

- 1 Gasturbine
- 2 Regelung
- 3 Brennkammer (ringförmig)
- 20 4 Turbinenteil
- 5 Verdichterteil
- 6 Turbinenwelle
- 7 Turbineneintritt
- 8 Brennstoffeinspritzdüse
- 25 9 Brennstoffringleitung
- 10 Brennstoffzuleitung
- 11 Ringleitung (Zusatzmedium)
- 12 Einspritzdüse (Zusatzmedium)
- 13 Zuleitung (Zusatzmedium)
- 30 14 Regelventil
- 15 Drucksensor
- 16 Meßwertaufbereitung
- 17 Meßwertverarbeitung
- 18 Ansteuerung.

35

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Dämpfung von thermoakustischen Schwingungen, welche bei der Verbrennung eines einströmenden Brennstoffes in einer Brennkammer (3), insbesondere in der Brennkammer einer Gasturbine (1), entstehen, bei welchem Verfahren die Druckschwankungen in der Brennkammer (3) gemessen und die Verbrennung nach Maßgabe der gemessenen Druckschwankungen phasenrichtig so steuernd beeinflusst wird, daß die Druckschwankungen verringert werden, dadurch gekennzeichnet, daß zur Steuerung der Verbrennung der Ort der mit der Verbrennung verbundenen Wärmefreisetzungsschwankung gesteuert wird.
- 40 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerung des Ortes der Wärmefreisetzungsschwankung durch eine Steuerung des Zündzeitpunktes bewirkt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerung des Zündzeitpunktes durch Eindüsen eines zusätzlichen Mediums in die Brennkammer bewirkt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß ein zusätzliches Medium eingedüst wird, welches den Zündverzug vergrößert.
- 50 5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß ein zusätzliches Medium eingedüst wird, welches den Zündverzug verringert.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das zusätzliche Medium ein flüssiges Medium ist.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß zur Vergrößerung des Zündverzuges Wasser als zusätzliches Medium eingedüst wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das zusätzliche Medium ein gasförmiges Medium ist.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß zur Verkürzung des Zündverzuges als zusätzliches Medium Wasserstoff oder CO eingedüst wird.
- 60 10. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch erste Mittel zur Messung der Druckschwankungen und zweite Mittel zur Steuerung des Ortes der Wärmefreisetzung, welche zweiten Mittel mit den ersten Mitteln über eine Regelung (2) in Wirkverbindung stehen und eine Regelschleife bilden.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die ersten Mittel wenigstens einen in und/oder hinter der Brennkammer (3) angeordneten Drucksensor (15) und die zweiten Mittel wenigstens eine in der Brennkammer (3) angeordnete Einspritzdüse (12) umfassen, welche Einspritzdüse (12) über eine mit einem Regelventil (14) versehene Zuleitung (13) mit einem zusätzlichen Medium zur Steuerung des

65

Zündverzugs beaufschlagbar ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelung (2) in Hintereinanderschaltung eine Meßwertaufbereitung (16), eine Meßwertverarbeitung (17) und eine Ansteuerung (18) umfaßt, wobei der Eingang der Meßwertaufbereitung (16) mit dem Drucksensor (15) und der Ausgang der Ansteuerung (18) mit dem Regelventil (14) in Wirkverbindung steht.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßwertaufbereitung (16) insbesondere zur Einstellung der richtigen Phase innerhalb der Regelschleife vorgesehen ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

